

Embedded Signal Processing with the
Micro Signal Architecture

基于微信号结构的 嵌入式信号处理



【新】Woon-Seng Gan, Sen M.Kuo 著
冯小平 李鹏 罗明 等译

基于微信号结构的嵌入式信号处理

Embedded Signal Processing with the Micro Signal Architecture

[新] WOON-SENG GAN 著
SEN M.KUO

冯小平 李 鹏 罗 明 鲍 丹 蔡晶晶 译

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书简要介绍数字滤波器、DFT、FFT 等数字信号处理中最基本的理论和方法,重点讨论它们在数字信号处理器中的实现技术和方法。结合 DSP 开发应用技术,引入了常用的数字信号处理工具 MATLAB、LabVIEW,以及 ADSP 开发工具 VisualDSP++等。书中以 ADI 公司的 Blackfin 处理器为例,通过大量的实例,引导读者利用 DSP 处理器完成基本的数字信号处理算法,最终将它应用到音频和图像处理等实时处理任务中。

本书的主要读者为高等院校电子类专业的本科生和研究生,同时也可以作为相关领域的科技工作者的参考书。

Embedded Signal Processing with the Micro Signal Architecture

Woon-Seng Gan, Sen M.Kuo

ISBN 978-0-471-73841-1

Copyright © 2007 by John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. This translation published under license.

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED BY JOHN WILEY & SONS, Inc., NEW YORK, CHICHESTER, BRISBANE, SINGAPORE AND TORONTO.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

本书中文简体中文字版专有翻译出版权由美国 John Wiley & Sons, Inc. 公司授予电子工业出版社。未经许可,不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字:01-2007-5189

图书在版编目(CIP)数据

基于微信号结构的嵌入式信号处理/(新加坡)颜允圣,(新加坡)郭森林著;冯小平等译.

北京:电子工业出版社,2008.10

书名原文: Embedded Signal Processing with the Micro Signal Architecture

ISBN 978-7-121-07398-4

I. 基… II. ①颜…②郭…③冯… III. 数字信号—信号处理 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 142046 号

策划编辑:高买花

责任编辑:史鹏举

印 刷:北京天宇星印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:26 字数:600 千字

印 次:2008 年 10 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:56.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

译者序

新加坡南洋理工大学 Woon-Seng Gan 教授等著的 “Embedded Signal Processing with the Micro Signal Architecture” (基于微信号结构的嵌入式信号处理) 一书, 是一本将数字信号处理的基本概念和数字信号处理器应用成功结合的非常好的教科书。全书以数字信号处理的基本应用为主题, 深入浅出地介绍了数字信号处理的数字滤波器设计、音频信号处理和图像处理应用等数字信号处理的基本理论和方法。它结合 ADI 公司的 Blackfin 嵌入式处理器, 介绍了嵌入式处理器的硬件特点、编程模型及其信号处理实现技术。书中通过大量的实例和实验, 指导读者由浅及深、循序渐进地理解数字信号处理及其实现方法。这种把数字信号处理理论与数字信号处理器设计相结合的方法, 极大地加深了读者对数字信号方法和过程的理解。

全书共 10 章, 分为三部分, 第一部分是基础篇, 包括第 2~4 章, 主要介绍时域和频域信号、离散傅里叶变换、数字滤波器的基本概念, 同时简单地介绍了常用的数字信号处理工具, 如 MATLAB、ADSP 集成开发环境 VisualDSP++、LabVIEW 的 Blackfin 处理器的嵌入式模块等开发工具。第二部分是提高篇, 包括第 5~8 章, 主要介绍 ADI 公司的 Blackfin 处理器的体系结构、数据类型及其运算、存储器组织和数据传输、电源管理和程序优化技术等。通过大量的实例和实验, 训练对定点嵌入式处理器进行信号处理的编程的基本方法。第三部分是应用篇, 包括第 9~10 章, 主要介绍关于实时音频信号处理和图像处理应用。它综合应用前几章中的知识和工具, 结合音频编码/解码器、3D 音效、二维图像处理等典型实例, 给出了相关概念、原理框图、示例代码, 用来解决实际问题。

数字信号处理是电子信息类专业的重要专业课程之一。学生在完成对 DFT、FFT、FIR 滤波器、IIR 滤波器数字信号处理的基本理论和方法的学习后, 对它们是如何在工程实际中得到应用, 特别是如何在通用的数字信号处理器中实现, 仍然缺乏认识和经验。本书的重要贡献和特色之一, 是把数字信号处理的基本理论融合在大量的实例中, 在数字信号处理理论和 DSP 应用之间铺设了一条高速公路。它可以引导和帮助读者把在数字信号处理理论课程中掌握的基本算法, 利用 MATLAB、LabVIEW、C/C++ 和 VisualDSP++ 等工具, 转换成为在基于 Blackfin 处理器硬件平台中可以执行的程序代码, 使读者在完成相关理论基础的学习后, 可以迅速地获得数字信号处理器开发设计的知识和经验。

数字信号处理器的开发通常需要经历算法设计仿真、硬件平台开发、程序开发和调试、运行测试等几个主要阶段。受限于开发工具, 传统的开发过程中, 这几个阶段是独立完成的。而在本书中, 将这几个开发阶段有机地结合了起来。算法仿真——在 MATLAB 中实现, 硬件平台——采用通用的 Blackfin EZ-KIT 平台, 程序开发——利用 LabVIEW 图形化工具或者 C/C++ 程序, 运行测试——通过 VisualDSP++ 仿真。值得一提的是, 本书提供的大量实例和实验, 几乎全部采用在 MATLAB 中进行算法仿真、通过 VisualDSP++ 进行仿真、通过 LabVIEW 图形化工具完成设计仿真和模块化编程、经过 Blackfin EZ-KIT 嵌入式平台实现实时验证等多种途径、多种平台实现的方法, 使读者在多次重复的过程中既加深对数

字信号处理理论和算法的理解,同时对其实现途径和技术有更加清晰的认识。通过这些实例,读者可以逐步深入地理解数字信号处理理论中的算法是如何转换为 DSP 处理器中的高效程序代码的。进一步,如果读者认真仔细地、正确地完成了各章最后给出的练习题,可能很快就会成为 DSP 领域中的能手甚至专家。

参加本书翻译工作的有冯小平和李鹏教授、罗明、鲍丹和蔡晶晶博士。李鹏负责翻译第 9 章;鲍丹负责翻译第 3、4 章;罗明负责翻译第 5、6 章;蔡晶晶负责翻译第 7、10 章和附录;冯小平负责翻译第 1、2、8 章,并且审校和统稿全书内容。西安电子科技大学电子工程学院的硕士研究生杨光、冯莹、孙杰、张小东、张柯、孟爱权、牛忠华、崔玉姣、陈倩、黄海等参加了书稿的文字和附图输入编辑,在此对他们的辛勤劳动表示衷心感谢。

ADI 公司中国区景霓女士十分关心本书的翻译工作,并提出了很多宝贵的建议,在此表示衷心地感谢。电子工业出版社的编辑精心组织本书的翻译和审校工作,编辑部的很多同仁为本书的出版工作付出了大量的心血,在此一并表示衷心的感谢。

由于水平有限,加之时间紧迫,书中难免会出现一些翻译不准确、或者不符合专业习惯之处,敬请读者指正。

译者

于西安电子科技大学

2008 年 4 月

序 言

在数字网络化时代,信息能够以快速、可靠和高效的方式进行接收、处理、存储和传输。高效率、低成本、低功耗的嵌入式信号处理器使上述进步成为可能。嵌入式信号处理已经广泛应用于各种数字设备和系统,并且发展成为一种在嵌入式应用中必不可少的技术。嵌入式信号处理与控制有很多重要的研究课题,在一门或者两门课程中将其全部覆盖是不可能的。然而,互联网现在已经成为一个用来寻找新信息的有效平台,并且这种无所不在的工具使工程学教育的进程不断丰富和加速。不幸的是,学生们将不得不面对海量的信息提取问题,并且在正确的时间选取正确的材料。

本书介绍的是基于微信号结构(MSA)的嵌入式处理器,试图给读者提供新的、全面的关于嵌入式信号处理的信息,特别是ADI公司基于微信号结构(MSA)的Blackfin处理器。我们从各种文献中提取了大量的相关资料,它们来源于教科书、电子书籍、ADI公司网站有关信号处理的网页,以及关于这个主题的很多期刊和杂志。这种围绕着主题,有选择地组织材料,可以使读者在学习数字信号处理(DSP)时获得一种独特的经验。比如,学生们在进行实际应用的滤波器设计之前,不用去学习高深数字滤波器的设计理论。在本书中,学生们学习足够和必需的理论后,开始利用最新的工具去设计、调试和完成一个给定应用的算法。如果需要更高级的算法去解决一个更复杂的难题,学生们会更有信心并准备好去钻研新技术。这种创新的态度是我们希望读者能从本书中获取的。

我们利用汇编程序来介绍嵌入式处理器的结构。这是因为汇编语言代码可以提供关于处理器结构更精确的描述,并且可以提供对硬件更完整的测评和控制。否则,在实际应用中,对嵌入式信号处理器进行编程和代码优化是很困难的。然而,对于Blackfin处理器而言,利用C语言作为主程序,调用内部函数和DSP库函数,仍旧是优先考虑的编程风格。在底层的汇编代码的结构上思考,而用高级代码(C或数据流图)编程是很重要的。为此,我们给出了如何平衡高级程序和低级程序,并介绍优化程序需要的技术。更进一步,我们也介绍一种ADI和NI共同开发的非常有用的图形工具,它允许用户利用高级数据流图设计、仿真、实现和验证一个嵌入式系统。

本书的内容安排是循序渐进的,使它也适合于工程技术人员。读者可以跳过一些已经熟知的主题而关注于自身感兴趣的部分。下面介绍本书的主要章节和它们是如何联系在一起的。

基础篇:利用软件工具学习DSP——随时随地和面向工程的方法

在第2、3、4章,我们利用一组来自于MathWorks、ADI和NI公司的软件工具,来介绍DSP基本概念。在开始每章的练习之前,我们并不介绍完整的理论知识,而只是提供解决提出的问题所必需的但又是足够的知识,包括一些随时进行的小测验、实例、练习等,学生通过完成任务而更好地理解理论概念。这种方式特别适合于以不同速度和时间学习这些主题,从而使自学成为可能。

除了这些练习,每章最后也会提供一些挑战性的题目和计算机方面的问题作为练习

题。这些练习题建立在已经学习的知识的基础上，并且把思维扩展到更超前的概念。将激发学生对一个问题给出各种不同的解答，其目的是通过本书的学习，培养学生的学习方法。

把理论分为若干章节，使某些已经有 DSP 基础知识的读者，能跳过相关的内容。虽然如此，这些实例和练习是学习和熟悉各种软件工具的重要途径，其中包括 MATLAB，集成开发环境 VisualDSP++、LabVIEW 的 Blackfin 处理器的嵌入式模块。这些工具提供了一个平台，使学生在仔细学习 Blackfin 处理器之前可以将理论概念转化为软件代码。最新 LabVIEW 的 Blackfin 处理器的嵌入式模块，介绍了先进的嵌入式系统设计的快速模型和测试方法。这个新工具提供了令人兴奋的机遇，使新用户可以在学习编程细节之前探索嵌入式信号处理。因此，在基础工程课程中，教师可以利用每章结尾的那些图表实验进行嵌入式信号处理概念的教学。

提高篇：学习用 Blackfin 处理器进行实时信号处理——在比特级别体验实时采样实例和练习的方法

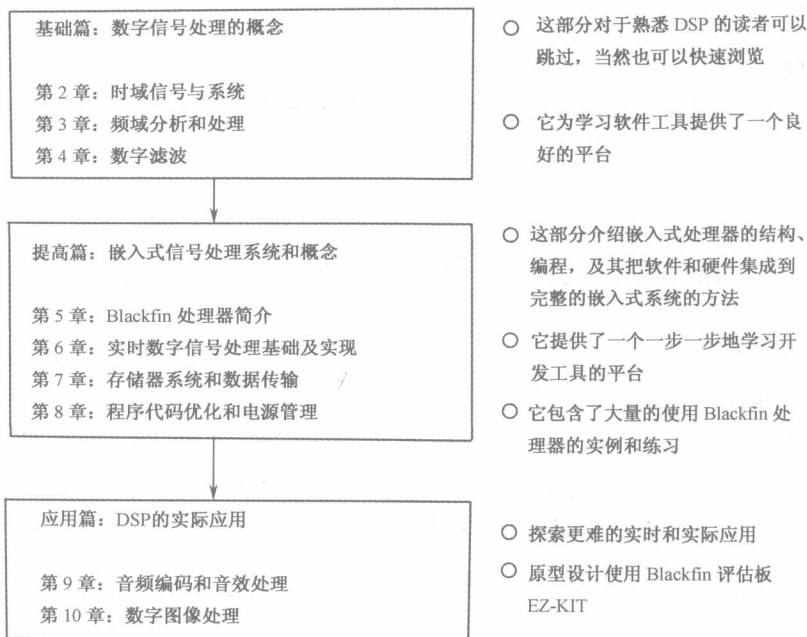
这部分包括第 5、6、7 和 8 章，主要讲述基于 Blackfin 处理器的嵌入式系统的设计和实现。与常见的用户手册不同，这里只是简单地介绍处理器的结构、指令集和外部接口。我们仅给出足够的相关资料，便开始基于 Blackfin 的工程，通过很多实例和练习，引导用户一步步地向最终目标靠近。我们将给出完整的方法，从在 MATLAB 中算法设计仿真，到 Blackfin 处理器中定点运算实现，以及外围设备接口，来完成一个独立的或者便携的设备。顺着这个思路一直走下去，很多设计和开发工具被介绍来完成不同的任务。更进一步，我们还提供很多提示、参考和补充信息，以便于学生对有挑战性的难题进行更高级主题的探索和应用。

提高篇实际上是一座连接 DSP 理论和基于嵌入式处理器的实时信号处理的桥梁，并且提供一个让学生利用定点嵌入式处理器进行信号处理编程的起点。

应用篇：设计和实现实时 DSP 算法及应用——系统集成的方法

应用篇（第 9、10 章）激发用户从事更具挑战性的关于音频信号处理和图像处理的实时应用。学生可以利用前几章学到的知识和工具去完成第 9、10 章中介绍的应用。作为引导，本书给出了一些基本概念、模块原理图、示例代码和建议，用来解决实际问题。在应用篇，我们使用模块化手段来一部分一部分地建立嵌入式系统，提供了很多机会给用户探索基础篇和提高篇中未曾覆盖的新算法和应用。这些应用实例也适用于一些小型化工程，即关于嵌入式信号处理的设计课程。与很多工程问题上一样，它们有很多解决方案，同样也有很多犯错误的机会和学习有价值课程的机会。读者可以钻研参考书并找出一种可能的方法解决这些工程。换言之，我们希望用户可以探索、学习并获得乐趣。

关于这三部分的总结如下图所示。它的组成为三部分：DSP 概念；嵌入式处理器结构和实时 DSP 论述；实际应用。它是一个简单的学习基于微信号结构的嵌入式信号处理的步骤。



关于实例、练习、实验、练习题和应用工程的说明

本书提供给读者很多机会去实践，每章都通过很多实例、小测验、实验、练习、练习题和应用工程去理解和探索相关的内容。它也用来作为很好的手把手的手册，去学习不同的软件工具（MATLAB、VisualDSP++和嵌入式 LabVIEW）和解决练习中的问题。这些部分可以分为以下几类：

1. 实例

帮助读者即时理解已学习的相关理论。实例中运用 MATLAB 来举例说明概念及如何解决问题。实例文档的命名形式为：

example{chapter number}_{example number}.m

它们通常建立在路径：

c:\adsp\chap{x}\MATLAB_EX{X}\

其中{X}是章节编号。

2. 小测验

包含很多小问题，考查读者理解程度。

3. 实验

大量的练习，帮助读者熟悉工具并解决更深层次问题。这些实验通常使用 MATLAB、VisualDSP++或嵌入式 LabVIEW。实验文档的命名形式为：

exp{chapter number}_{example number}

它们通常建立在路径：

c:\adsp\chap{x}\exp{x}_{no.}<option>

{no.}指代实验编号，<option>指代 BF533 或 BF537 EZ-KIT。

4. 练习

进一步的加强学生对于前面已经学习的概念、实例和实验的理解，也提供更高深的

问题以便加深理解。

5. 练习题

位于第 1~8 章每章的最后。这些问题探索、延伸出更有趣和更具挑战性的问题和实验。

6. 应用工程

位于在第 9 章和第 10 章的最后，可作为小型化工程。学生可以分组一起工作，解决这些面向工程应用的题目，并提交一个说明其实现方法、算法、仿真和如何合理应用 Blackfin 处理器实现课题的报告。

大多数实验和练习要求测试数据，本书提供的 2 个目录包括音频和图像数据文档。这些文档存储于路径 `c:\adsp\audio_files` 和 `c:\adsp\image_files`。

用户手册网站

本书的支持页面：www.ntu.edu.sg/home/ewsgan/esp_book.html。这个网站包括很多补充资料和每一章有用的参考资料的链接，还给出了一套包含所有要点的 PowerPoint 格式的讲义。它也将介绍新的实验和关于嵌入式信息处理的新设计。因为嵌入式处理器的快速发展变化，软件工具和 Blackfin 处理器也将随时间的发展而经历很多变化。本书中的软件工具的版本如下：

MATLAB 7.0 版

VisualDSP++ 4.0 版

LabVIEW 8.0 版

LabVIEW Embedded Edition 7.1 版

网站将持续追踪关于这些工具的最新的变化和新特征，也将公布在新版本下运行已有实验时出现的兼容性方面的问题。

所有练习和实验中提到的程序均可以在 Wiley 的网站上下载：

ftp://ftp.wiley.com/public/sci_tech_med/embedded_signal/.

我们也设有一个反馈环节来倾听您的评论和意见。另外，欢迎读者发邮件至 ewsgan@ntu.edu.sg 和 kuo@ceet.niu.edu。

致 谢

我们非常感谢为本书提供帮助的各界人士。特别是要感谢 ADI 公司的 Todd Borkowski, 他鼓励我们开始本书的编写, 没有他不断的支持, 我们不能走到这么远。我们也要感谢 NI 公司的 Erik B.Luther, Jim Cahow、Mark R.Kaschner 和 Matt Pollock 在实验、实例和编写 Blackfin 处理器的嵌入式 LabVIEW 模块方面的贡献, 没有他们强有力的帮助和支持, 我们不可能在如此短的时间内完成这么多令人兴奋的演示工作。感谢 NI 公司的 Chandran Nair 和 Siew-Hoon Lim 所提供的技术支持和建议。感谢 ADI 公司的 Dabid Katz 和 Dan Ledger 提供的关于 Blackfin 处理器方面有用的建议。此外, 非常感谢 ADI 公司的 Mike Eng, Dick Sweeney, Tonny Jiang, Li Chuan, Mimi Pichey 和 Dianwei Sun。

John Wiley 的工作人员也为本书的成功提供了很大帮助。感谢 George J.Telecki, Associate Publisher 对本书的帮助。特别要感谢 Rachel Witmer, Editorial Program Coordinator 及时地回答了我们的问题。感谢 Wiley 的 Danielle Lacourciere 和 Dean Gonzalez 为本书所做的准备工作。

感谢 Dahyanto Harliono 对本书中关于 Blackfin 的练习做出的贡献。感谢对本书中一些练习和实例做出贡献的 Furi Karnapi, Wei-Chee Ku, Ee-Leng Tan, Cyril Tan 和 Tany Wijaya。感谢 Say-Cheng Ong 在测试 LabVIEW 实验中给予的帮助。

本书也献给那些曾经选修我们的 DSP 课程, 在我们的指导下完成硕士论文或博士论文以及完成高级设计工程的学生。NTU 和 NIU 机构提供了一种对科研和教学有激励的环境, 我们感激这强有力的鼓励和支持。

特别感谢我们的父母和家人在编写本书的过程中对我们的理解、帮助和鼓励。

关于作者

Woon-Seng Gan 是新加坡南洋理工大学电子学和电子工程学院信息工程系的副教授。他是“*Digital Signal Processors: Architectures, Implementations, and Applications*” (Prentice Hall 2005) 的作者之一。在相关刊物和国际会议上发表学术论文 130 余篇。他的研究方向是嵌入式媒体信息处理、嵌入式系统、低功耗算法和实时实现。

Sen M.Kuo 教授是位于 DeKalb,IL 的南伊利诺依大学电子工程系主任。1993 年,他在得克萨斯州休斯敦的得州仪器 (TI) 工作。他是以下 4 本著作的第一作者:“*Active Noise Control Systems*” (Wiley,1996),“*Real-Time Digital Signal Processing*” (Wiley, 2001, 第二版, 2006),“*Digital Signal Processors*” (Prentice Hall,2005),“*Design of Active Noise Control Systems with the TMS320 Family*” (TI, 1996)。他的研究方向是实时信号处理应用、有源噪声和抖动控制、自适应回波和噪声对消、数字音频应用和数字通信。

注:

本书中的大量插图来源于 ADI 公司版权所有的出版物,并得到了版权所有人的允许。本书中大量的插图和练习取自于 NI 公司版权所有的出版物并得到了许可。

VisualDSP++是 ADI 公司的注册商标。

LabVIEW 和 NI 是 NI 公司的注册商标。

MATLAB 是 MathWorks 公司的注册商标。

感谢 Hackles 通过“Leave It Up to Me” www.TheHackles.com 提供的资料,版权 2006。

目 录

第 1 章 绪言	1
1.1 嵌入式处理器：微信号结构	1
1.2 实时嵌入式信号处理	4
1.3 集成开发环境 VisualDSP++ 介绍	5
1.3.1 安装 VisualDSP++	6
1.3.2 利用简单的程序来演示基本工具	7
1.3.3 进一步的安排：使用 Blackfin BF533 或 BF537 EZ-KIT	10
1.4 更多的实验	12
1.5 使用图形化开发环境进行系统级的设计	15
1.5.1 设置 LabVIEW 和 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块	15
1.6 练习题	17

基础篇 数字信号处理的概念

第 2 章 时域信号与系统	20
2.1 引言	20
2.2 时域数字信号	20
2.2.1 正弦波信号	21
2.2.2 随机信号	22
2.3 数字系统简介	26
2.3.1 滑动平均滤波器：结构和表达式	27
2.3.2 数字滤波器	29
2.3.3 FIR 滤波器的实现	33
2.4 非线性滤波器	36
2.5 更多的实验	38
2.6 用 Blackfin 仿真器实现滑动平均滤波器	40
2.7 用 BF533/BF537 EZ-KIT 实现滑动平均滤波器	42
2.8 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块中的滑动平均滤波器	44
2.9 练习题	47
第 3 章 频域分析和处理	49
3.1 引言	49
3.2 z 变换	49

3.2.1	定义	49
3.2.2	系统的概念	51
3.2.3	数字滤波器	53
3.3	频率分析	58
3.3.1	频率响应	58
3.3.2	离散傅里叶变换	63
3.3.3	快速傅里叶变换	65
3.3.4	窗函数	69
3.4	更多的实验	73
3.4.1	简单低通滤波器	73
3.4.2	凹口滤波器的设计和应用	75
3.4.3	峰值滤波器的设计和应用	79
3.5	使用 Blackfin 软件仿真器进行频率分析	82
3.6	使用 Blackfin BF533/BF537 EZ-KIT 进行频率分析	85
3.7	使用 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块进行频率分析	88
3.8	练习题	91
第 4 章	数字滤波	94
4.1	引言	94
4.1.1	理想滤波器	94
4.1.2	实际滤波器的技术指标	96
4.2	有限冲激响应滤波器	100
4.2.1	FIR 滤波器的特性与实现	101
4.2.2	FIR 滤波器设计	103
4.2.3	实验	105
4.3	无限冲激响应滤波器	107
4.3.1	IIR 滤波器的设计	107
4.3.2	IIR 滤波器的结构和特性	110
4.3.3	实验	114
4.4	自适应滤波器	116
4.4.1	自适应滤波器的结构和算法	116
4.4.2	自适应滤波器的设计和应用	118
4.4.3	更多的实验	123
4.5	使用 Blackfin 仿真器的自适应谱线增强	126
4.6	使用 Blackfin BF533/BF537 EZ-KIT 的自适应谱线增强	128
4.7	使用 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块的自适应谱线增强	129
4.8	练习题	131

第 5 章 Blackfin 处理器简介	134
5.1 Blackfin 处理器：嵌入式媒体处理器结构	134
5.1.1 微信号处理结构 (MSA) 简介	134
5.1.2 Blackfin 处理器概述	134
5.1.3 结构：硬件处理单元和寄存器文件	135
5.1.4 总线结构和存储器	149
5.1.5 外围接口基础	154
5.2 Blackfin 处理器的软件工具	155
5.2.1 软件开发流程和工具	155
5.2.2 VisualDSP++ 环境中的汇编语言编程	156
5.2.3 链接器的详细介绍	160
5.2.4 更多的调试功能	163
5.3 基于 FIR 滤波器的图示均衡器	164
5.4 用 Blackfin 仿真器设计图示均衡器	166
5.5 用 BF533/BF537 EZ-KIT 实现图示均衡器	170
5.6 用 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块实现图示均衡器	173
5.7 练习题	176
第 6 章 实时数字信号处理基础及实现	179
6.1 Blackfin 处理器的数据类型	179
6.1.1 定点类型	179
6.1.2 定点扩展类型	189
6.1.3 定点数据类型	190
6.1.4 模拟浮点类型	190
6.1.5 块浮点类型	193
6.2 动态范围、精度和量化误差	194
6.2.1 模拟信号的输入和量化	194
6.2.2 动态范围、量化信噪比和精度	196
6.2.3 数字系统中量化误差的来源	198
6.3 实时处理概述	205
6.3.1 脱机处理与实时处理	205
6.3.2 样本的顺序处理方式和它的实时限制	206
6.3.3 成批处理方式和它的实时限制	207
6.3.4 实时性的性能参数	209
6.4 基于 IIR 滤波器的图示均衡器简介	212
6.5 使用 Blackfin 仿真器实现基于 IIR 滤波器的图示均衡器	214
6.6 用 BF533/BF537 EZ-KIT 设计基于 IIR 滤波器的图示均衡器	218

6.7	使用 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块实现 基于 IIR 滤波器的图示均衡器	218
6.8	练习题	222
第 7 章	存储器系统和数据传输	225
7.1	信号截获和存储器传输概述	225
7.1.1	理解 CODEC	225
7.1.2	连接 AD1836A 到 BF533 处理器	228
7.1.3	串行口 SPORT	230
7.2	DMA 及其编程	234
7.2.1	DMA 传输配置	236
7.2.2	设置自动缓存 DMA 模式	237
7.2.3	存储器 DMA 传输	243
7.2.4	设置存储器 DMA	243
7.2.5	使用存储器 DMA 的实例	244
7.2.6	DMA 的高级属性	248
7.3	Blackfin 处理器中高速缓存的使用	248
7.3.1	高速缓冲存储器的概念	249
7.3.2	高速缓存的有关术语	250
7.3.3	指令高速缓存	252
7.3.4	高速数据缓存	254
7.3.5	存储器管理单元	256
7.4	高速缓存和存储器 DMA 的比较及选择	259
7.5	Blackfin 处理器的高速暂存存储器	260
7.6	使用 Blackfin 仿真器作为信号发生器	260
7.7	使用 BF533/BF537 EZ-KIT 信号发生器	263
7.8	利用 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块实现信号发生器	264
7.9	练习题	267
第 8 章	程序代码优化和电源管理	270
8.1	代码优化	270
8.2	C 优化技巧	271
8.2.1	VisualDSP++ 中的 C 编辑器	271
8.2.2	C 编程事宜	272
8.2.3	使用内部函数	277
8.2.4	行嵌入汇编	281
8.2.5	C/C++ 运行时间库	281
8.2.6	DSP 运行时间库	282
8.2.7	反馈式优化	284
8.3	使用汇编代码提高编程效率	286

8.3.1	使用硬件循环	289
8.3.2	使用双 MAC	289
8.3.3	使用并行指令	290
8.3.4	特殊寻址方式: 独立数据段	291
8.3.5	使用软件流水	291
8.3.6	FIR 滤波器的周期计数和代码长度汇总	293
8.4	Blackfin 处理器的功耗和电源管理	294
8.4.1	Blackfin 处理器的功耗计算	294
8.4.2	Blackfin 处理器的电源管理	295
8.5	使用 Blackfin 软件仿真器实现采样频率转换	299
8.6	使用 BF533/BF537 EZ-KIT 完成采样频率转换	302
8.7	使用 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块实现采样 速率转换	303
8.8	练习题	306

应用篇 DSP 的实际应用

第9章	DSP 实际应用: 音频编码和音效处理	310
9.1	音频压缩综述	310
9.2	MP3/Ogg Vorbis 音频编码	314
9.3	MP3/Ogg Vorbis 音频解码	317
9.4	用 BF537 EZ-KIT 实现 Ogg Vorbis 解码器	318
9.5	音效处理	319
9.5.1	3D 音效	319
9.5.2	用 BF533/BF537 EZ-KIT 实现 3D 音效	322
9.5.3	制作混响效果	323
9.5.4	用 BF533/BF537 EZ-KIT 实现混响	325
9.6	利用 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块实现 MDCT	325
9.7	练习题	328
第10章	DSP 实际应用: 数字图像处理	330
10.1	图像的表示	330
10.2	使用 BF533/BF537 EZ-KIT 进行图像处理	332
10.3	色彩转换	333
10.4	使用 BF533/BF537 EZ-KIT 进行色彩转换	335
10.5	二维离散余弦变换	336
10.6	用 BF533/BF537 实现二维 DCT/IDCT	339
10.7	二维滤波	340
10.7.1	二维滤波器	341
10.7.2	二维滤波器设计	343

10.8	用 BF533/BF537 EZ-KIT 实现二维滤波	344
10.9	图像增强	345
10.9.1	高斯白噪声和线性滤波	345
10.9.2	脉冲噪声和中值滤波	347
10.9.3	对比度调节	350
10.10	用 BF533/BF537 EZ-KIT 实现图像增强	353
10.11	用 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块进行图像处理	354
10.12	练习题	357
附录 A	LabVIEW 图形化编程说明	359
A.1	什么是 LabVIEW?	359
A.1.1	一图胜千言	359
A.1.2	由 LabVIEW 开始	360
A.1.3	安装软件	360
A.1.4	激活软件	360
A.1.5	连接硬件	361
A.1.6	运行一个例程	361
A.2	LabVIEW 概述	361
A.2.1	LabVIEW 开发环境	361
A.2.2	前面板	361
A.2.3	程序框图	363
A.2.4	在 LabVIEW (Windows) 中调试	363
A.2.5	帮助	364
A.3	LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块介绍	368
A.3.1	什么是 LabVIEW 嵌入式 7.1 版?	368
A.3.2	什么是 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块?	368
A.3.3	选择 Blackfin 处理器作为目标平台	369
A.3.4	Build 选项	370
A.3.5	目标平台配置	371
A.3.6	运行一个嵌入式应用程序	371
A.3.7	在 LabVIEW 的 Blackfin 处理器嵌入式模块中调试程序	372
附录 B	可用的网站	377
附录 C	实验与练习中使用文件列表	378
附录 D	VisualDSP++ V4.5 的实验更新	383
索引		384
参考文献		394